

アクセスポイントの最適配置における 仮想化技術を用いた実現手法の検討

濱 口 毅^{†1} 小 俣 拓 也^{†1}
永 井 隆 博^{†2} 重 野 寛^{†2}

IEEE802.11 に代表される無線ネットワークは家やオフィスや公共の場で広く使われるようになっていいる。高品質なサービスを実現するための無線ネットワークの設計構築において重要な課題としてアクセスポイントの最適な配置にある。アクセスポイントの配置について多くの議論がなされてきた。しかし、これらの研究の多くは最適配置を実現するためにアクセスポイントの配置手法が別途必要になると考えられる。そこで本研究ではアクセスポイントにおける最適配置を実現する Virtual Access Point(VAP) を提案する。VAP は仮想化技術を用いて構築され、ライブマイグレーションを実行することで異なるアクセスポイントに移動する。

The Study of Realization Method using Virtual Technique for Optimal Deployment of Access Point

TSUYOSHI HAMAGUCHI,^{†1} TAKUYA KOMATA,^{†1}
TAKAHIRO NAGAI^{†2} and HIROSHI SHIGENO^{†2}

Wireless network such as IEEE802.11 is common in the indoor and outdoor. Designing and constructing an efficient wireless network plays a vital role in achieving high-quality service. There has been a discussion about the method to determine the optimal deployment of access point. To keep the efficient wireless network, realization method that reconfigures the placement and configuration based on the optimal deployment is necessary. Therefore, we proposed Virtual Access Point(VAP) to be used for the optimal deployment of access point. VAP is constructed by virtual technique, and moves to another access point. And, VAP can be moved to a different access point by a live migration.

1. はじめに

IEEE802.11 に代表される無線ネットワークは家やオフィスや公共の場で広く使われるようになっていいる。無線技術はコンピュータやゲーム機に代表される情報家電をネットワークに接続するため、有線技術よりも配線において柔軟性が高い。情報家電は無線ネットワークに接続することで有線では不可能であったサービスを提供することが可能になる。従って効率的な無線ネットワークの設計構築は、より高品質なサービスの実現のために重要である。

情報家電などのモバイルノードが無線ネットワークを使用する方法の一つはアクセスポイントという固定ノードに接続することである。モバイルノードは接続したアクセスポイントとの間でのみ通信を行う。つまり効率的な無線ネットワークの設計構築において重要な課題の一つはアクセスポイントの最適な配置である。アクセスポイントを非効率に配置すると必要以上に設置コストをかけたり、電波干渉が発生して通信効率が低下する可能性がある。

アクセスポイントの配置について多くの議論がなされてきた。たとえば、アクセスポイントの最適配置を地理情報などの不変な情報を用いて静的に決定する研究やモバイルノードの通信状態などの可変な情報に基づいて動的に決定する研究が挙げられる。

しかし、これらの研究の多くは最適配置を実現するためにアクセスポイントの配置手法が別途必要であると考えられる。地理情報やモバイルノードの通信状態などの最適配置を決定する無線ネットワークの状況は常に変化する。そのため、効率的な無線ネットワークを設計構築するためにはアクセスポイントの最適配置が再び決定されることが考えられる。しかし、再び決定した最適配置に基づいてアクセスポイントの配置場所と設定を変更できない。そこで、アクセスポイントの配置手法によって場所と設定の変更が必要である。しかし、アクセスポイントの配置手法には3つの課題があると考えられる。第1にアクセスポイントの再配置が考慮されていないこと、第2に再配置時にパケットロスが発生すること、第3に異なるドメインでの再配置ができないことである。

そこで、本研究ではアクセスポイントの配置手法として Virtual Access Point(VAP) を提案する。VAP はアクセスポイントの物理リソースを利用して構築された論理的なアクセスポイントである。VAP は仮想化技術によって構築されているため、SSID などのドメイン

^{†1} 慶應義塾大学大学院理工学研究科

Graduate School of Science and Technology, Keio University

^{†2} 慶應義塾大学理工学部

Faculty of Science and Technology, Keio University

の情報を用いて異なるアクセスポイントに配置場所を移動できる。さらに、VAP はライブマイグレーションを用いて異なるアクセスポイントに配置場所を移動できる。

2. 関連研究

アクセスポイントの最適配置についての手法が多数議論されてきた。その手法は目的と使用する情報によって大きく2つに分けられることが多い。配置するアクセスポイント数を変えるだけ少なくする既存の研究では距離などの地理的情報を使い、通信前にアクセスポイントの配置を行う。これを静的な配置手法として説明する。多くのモバイルノードの通信効率を良くする既存の研究ではモバイルノードの状態などの情報を使い、チャンネルの割り当て等を通信中に行う。これを動的な配置手法として説明する。

2.1 静的な配置手法

静的な配置手法は地理情報を基に最適配置を求める。無線ネットワークの構築ではカバレッジホールを作らないようにアクセスポイントを設置することが重要である。しかし必要以上に設置するとコストが高くなり、通信が干渉する可能性がある。

1) は無線ネットワークの範囲を最小のアクセスポイント数でカバーするように、線形計画法を用いて配置方法を決定する。屋内のアクセスポイントの配置方法と周波数の割り当てについて定式化し、商用ツールを用いて解決している。提案されているモデルは全ての範囲をカバーすることを目的としているのではなく、使用するアクセスポイント数が決まっている場合の配置方法を定めることを目的としている点に特徴がある。

2) は OFDM を用いた屋内の無線ネットワークを構築する際に、ビットエラーレートが低くなるアクセスポイントの配置を決定する。アクセスポイントの配置方法について定式化し、焼きなまし法を用いて解決している。

3) は屋外にリピーターを使って無線ネットワークを構築する際に、アクセスポイントの数を少なく且つ通信効率が良くなる配置方法を非線形計画法を用いて決定する。リピーターの間隔が広いほどアクセスポイントの数を少なくできる一方で通信効率は悪くなるため、この2つを考慮した配置手法を検討している。この2つの条件を定式化し最適化問題を解決している。

2.2 動的な配置手法

動的な配置手法はモバイルノードの通信状態を基に最適配置を求める。モバイル端末にモビリティがある無線ネットワークでは通信状態の変化が起こるため、状態の変化に合わせて

モバイル端末やアクセスポイントの設定を変更することが必要である。

4) はアクセスポイントの最大チャンネル使用率を最小にするアクセスポイントの選択とチャンネルの決定を行う。もし全てのアクセスポイントが同じチャンネルを使用すると干渉が起こり通信が阻害される。そこで完全に干渉しない独立しているチャンネルのみ用いることで高い通信効率を可能にする⁴⁾。において著者はこの問題を線形計画法として定式化し CPLEX を用いて解を求めている。

5) は電波干渉を小さくするために無線ネットワークのチャンネルの動的な割り当て方法を決定する。電波干渉が最小となるチャンネルの割り当て方法を定式化し、ランダムにチャンネルを選択する手法と小さいチャンネル番号から使用する手法について測定を行っている。

6) は複数のドメイン間で無線ネットワークを作成する際に無線リソースの管理を行っている。隣接するドメインの無線ネットワークでは、通信範囲が被り干渉する可能性がある。そこで⁶⁾は無線リソースを管理する Radio Resource Broker という無線リソース監視ノードで動的に操作を行うことでドメインの境界に関する無線チャンネルの最適配置を提供する。

3. 配置手法における課題

上記のような研究の多くは最適配置を実現するためにアクセスポイントの配置手法が別途必要である。効率的な無線ネットワークを設計構築するためにはアクセスポイントの最適配置を決定し、それに基づいてアクセスポイントを実際に配置する必要がある。たとえばアクセスポイントが利用しているチャンネルや場所を変更することが挙げられる。しかし、アクセスポイントの配置手法には3つの課題があると考えられる。

3.1 アクセスポイントの再配置

既存の研究では最適配置にあわせてアクセスポイントの場所と設定を変更できないと考えられる。関連研究では最適配置は地理情報とモバイルノードの通信状態を基に求められている。しかし、これらの情報はワイヤレスネットワークにおいて常に変化することが想定される。そのため、最適配置は変化した情報を基に再び求められる。しかし、たとえ最適配置が再び求められたとしてもアクセスポイントの場所や設定を変更できない。そのため、アクセスポイントの場所と設定を再配置して変更する手法が必要である。

3.1.1 再配置時のパケットロス

再配置している間のアクセスポイントはパケットを受信できないと考えられる。最適配置が再び決定されたとき、アクセスポイントを停止して異なる場所に移動することが想定され

る。しかし、アクセスポイントは停止したらバックボーンネットワークやモバイルノードからのパケットを受け取ることはできない。そのため、場所を変更している間はアクセスポイントがパケットを受信する手法を考慮する必要がある。

3.2 異なるドメインでの配置

異なるドメインにおいてアクセスポイントの場所と設定は変更できないと考えられる。異なるドメインのアクセスポイントを含んだ最適配置はより効率的な無線ネットワークを構築できると考えられる。たとえば、異なるドメインのアクセスポイントを使って最適配置すると無線ネットワークのカバーエリアを拡大することができる。しかし、異なるドメインのアクセスポイントの場所と設定は変更できないため最適配置を実現できない。そのため、異なるドメインのアクセスポイントを含んで再配置する手法が必要である。

4. アクセスポイントにおける最適配置の実現手法

本研究ではアクセスポイントの配置手法として Virtual Access Point (VAP) を提案する。VAP は物理的なアクセスポイントのリソースを利用して構築された論理的なアクセスポイントである。VAP は仮想化技術を用いて構築されているためドメインの情報を物理アクセスポイント内で独立して保持できる。また、ライブマイグレーションを実行することで異なる物理アクセスポイントに移動して配置場所を起動できる。

4.1 VAP の構成

4.1.1 仮想化技術

仮想化技術は分割した物理リソースを用いて仮想マシンを起動し、機器を多重化する技術である。物理マシンは CPU、メモリ、I/O などの物理リソースを用いて起動する。仮想化技術は物理リソースを複数の論理リソースとして分割し、それらを仮想マシンにリソースとして割り当てる。仮想マシンは割り当てられたリソースを利用して物理マシン内で独立して起動する。そのため、ハードウェアに依存せず論理リソースがあれば仮想マシンをどの物理マシン内でも起動できる特徴がある。

また、仮想化技術にはライブマイグレーションと呼ばれる機能が備わっている。ライブマイグレーションは実行中の仮想マシンを別の物理マシンに無停止で移動させることができる。ライブマイグレーションは仮想マシンを構成する論理リソースの状態を異なる物理マシンにコピーすることで実現できる。

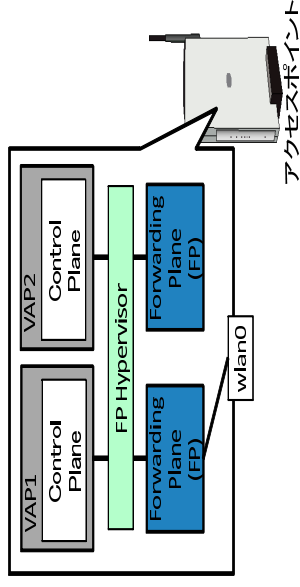


図 1 VAP の構造

Fig. 1 The architecture of VAP

4.1.2 VAP の構成

VAP は仮想化技術を用いて構築された論理的なアクセスポイントで、物理的なアクセスポイント内で起動する。仮想化技術は物理リソースを分割し、仮想マシンを物理マシン内で独立して起動する。そのため、各 VAP は独立してドメインの情報を保持できる。さらに、VAP はコントロールプレーンとフォワーディングプレーンの二つの機能を持っている。

図 1 に概要を示す。コントロールプレーンは VAP に関する情報を保持し、VAP が起動したときにそれらをアクセスポイントのインターフェースに設定する。VAP に関する情報は 2 つある。1 つは SSID、パスワード、チャネルなどのドメインの情報で、VAP の起動時にコントロールプレーンがアクセスポイントのインターフェースに設定する。もう 1 つはルーティング情報である。フォワーディングプレーンがルーティング情報をもとにモバイルノードやバックボーンネットワークからアクセスポイントに送られたパケットを転送する。フォワーディングハイパーバイザはルーティング情報を基にフォワーディングプレーンを構築する役割がある。

4.2 VAP のライブマイグレーション

4.2.1 アクセスポイントの再配置

アクセスポイントの再配置は VAP に関する情報の設定とライブマイグレーションを実行することで実現される。VAP に関する情報の設定を行うことで以前の最適配置の設定を変更できる。ライブマイグレーションを実行することで VAP が起動する場所を変更できる。これらによって物理的なアクセスポイントの場所や設定を変更せずに VAP を再配置する。

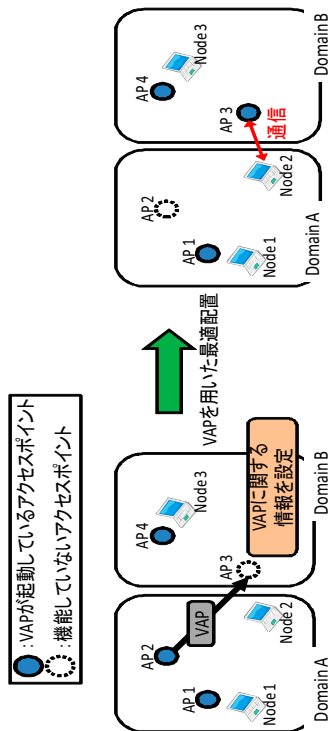


図 2 VAP を用いたアクセスポイントの再配置
Fig. 2 Live migration of VAP for optimal deployment of access point

図 2 は最小数のアクセスポイントですべてのモバイルノードをカバーする最適配置を行っている例である。この最適配置はモバイルノードと通信しているアクセスポイントは起動し、他のアクセスポイントはスリープすることで解決される。また、最適配置を決定する地理情報やモバイルノードの通信状態が変化した場合に最適配置をそれに基づいて再び決定すると考えられる。しかし、最適配置が再決定されても無線ネットワークは最適配置に修正されない。そのため、起動している VAP はライブマイグレーションによって最適なアクセスポイントに移動する。図 2 ではすべてのモバイルノードをカバーするために AP2 で起動している VAP を AP3 にライブマイグレーションする。これによって Node2 を AP3 でカバーする。この時 VAP は異なるドメインに所属しているアクセスポイントで起動する必要がある。この VAP は異なるドメインに所属しているアクセスポイントで VAP に関する情報を設定する。以上のようにして VAP の配置場所と設定を変更することで最適配置を実現できる。

4.2.2 VAP のライブマイグレーションプロセス

ライブマイグレーションが実行されるとコントロールプレーンとフォワーディングプレーンに分けて移動先のアクセスポイントに移動する。はじめに、コントロールプレーンを移動し、次にフォワーディングプレーンを移動する。機能ごとに移動することで VAP のダウンタイムを減らし、再配置時に発生するパケットロスを軽減できる。

図 3 に VAP におけるライブマイグレーションのプロセスを示す。図は最適配置を実現するために、アクセスポイント 1 の VAP をアクセスポイント 2 へライブマイグレーションする

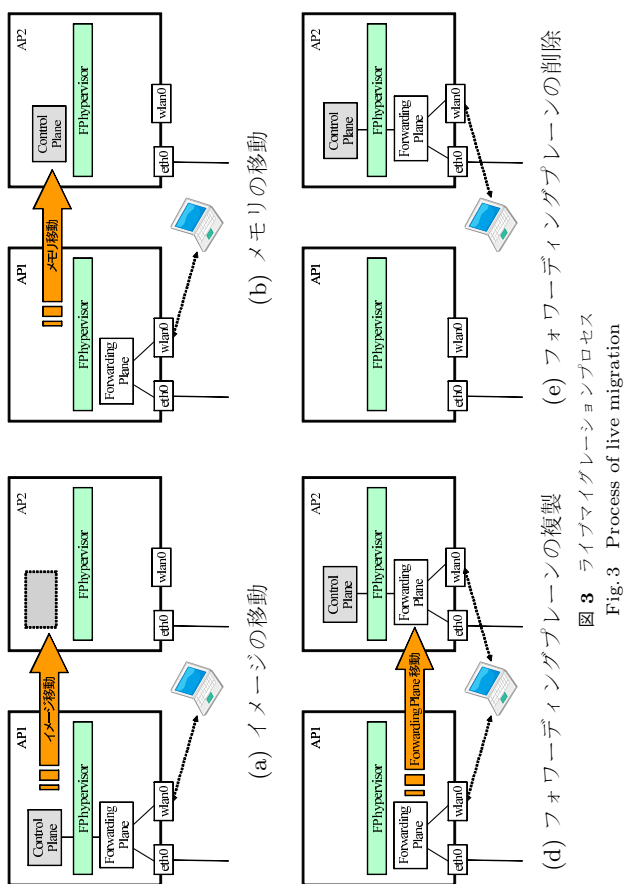


図 3 ライブマイグレーションプロセス
Fig. 3 Process of live migration

の流れを示している。まず、ライブマイグレーションが実行されると VAP はコントロールプレーン、フォワーディングプレーンの順に分かれて移動する。コントロールプレーンは 2 つの手順で移動する。はじめにコントロールプレーンのイメージを移動し、次にメモリを移動する。この手順で移動することでアクセスポイント 1 にある VAP のダウンタイムが短くなる。そのため、図 3(a) ではコントロールプレーンのイメージをアクセスポイント 2 に送信している。

VAP のメモリをアクセスポイント 2 に送信してコントロールプレーンの移動は完了する(図 3(b))。このとき、アクセスポイント 1 にはフォワーディングプレーンのみ存在している。しかし、フォワーディングプレーンがパケット転送を行っているためアクセスポイント 1 はモバイルノードと通信ができる。

フォワーディングプレーンをアクセスポイント 2 に複製し、アクセスポイント 1 とアクセスポイント 2 で通信を可能にする(図 3(c))。フォワーディングプレーンの複製はフォワーディングプレーンハイパーバイザがコントロールプレーンの保持しているルーティングテー

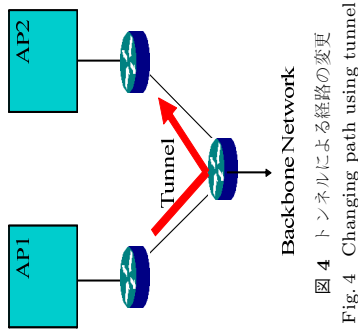


図 4 トンネルによる経路の変更
Fig. 4 Changing path using tunnel

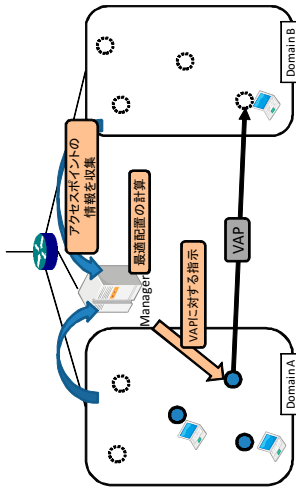


図 5 Manager ノードの動作
Fig. 5 Operation of Manager node

ブルの情報をもとに行う。そして、コントロールプレーンが保持しているドメインの情報を無線インタフェース wlan0 に設定して、アクセスポイント 2 で VAP を起動する。このようにして両方のアクセスポイントでパケット転送を可能にすることでアクセスポイントに送信されたパケットのロスを軽減する。

最後にアクセスポイント 1 のフォワーディングプレーンを削除することでライブライグレーションが完了する (図 3(d))。また、バックボーンネットワークからアクセスポイント 1 へ向かうパケットの経路をトンネルを用いて変更する (図 4)。これによって、アクセスポイント 1 に送信されたパケットがアクセスポイント 2 に送信される。

4.2.3 Manager ノード

VAP を用いたアクセスポイントの再配置には Manager ノードが存在すると考えられる。Manager ノードは各ドメインに対して中立的な立場で、最適配置の決定やライブライグレーション実行の指示を出すノードである。図 5 にドメイン A とドメイン B を含んだ最適配置をする場合の Manager ノードの動作を示す。最適配置を実現するためには地理情報やモバイルノードの通信状態の情報から最適配置を決定する必要がある。そのため、Manager ノードはアクセスポイントとモバイルノードから情報を収集する。具体的な情報はアクセスポイントが利用しているチャンネルや CPU などの状態、モバイルノードの地理的な場所が考えられる。Manager ノードは収集したこれらの情報から最適配置を決定するために計算を行う。この計算は狙いとしている最適配置によって変更する。たとえば無線ネットワークを構築する範囲を最小のアクセスポイント数でカバーする最適配置や動的なチャンネル割り

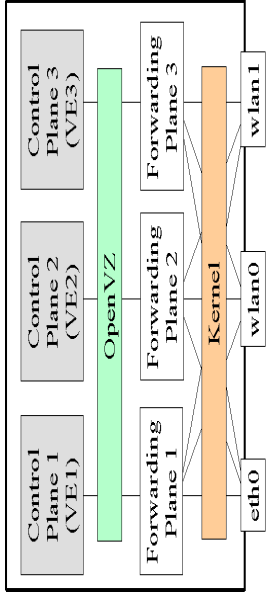


図 6 Virtual Access Point のプロトタイプ
Fig. 6 Prototype of Virtual Access Point

当てをする最適配置があるが、それらに合わせて計算方法も変化する。そのため、Manager ノードにあらかじめ狙いとしている最適配置の計算方法を決定しておく必要がある。さらに、Manager ノードは計算によって決定した最適配置に合わせて VAP に設定やライブライグレーションの指示を出す。以上の動作で VAP の再配置を実現する。

5. プロトタイプの実装

5.1 プロトタイプシステムの構成

Virtual Access Point (VAP) を実現するフレームワークのプロトタイプを図 6 に示す。Access Point (AP) は CentOS5.1 上に実装し AP1 は無線インタフェースを 2 つ持っている。無線インタフェース間には十分に距離が離れている。4.1.2 節より、VAP を機能によって Control Plane と Forwarding Plane に分割する。

Forwarding Plane は受信したパケットをバックボーンネットワークやモバイルノードに転送する役割を持つ。Forwarding Plane はアクセスポイントにおいてソフトウェアブリッジとルーティングテーブルと Kernel によって実現される。ソフトウェアブリッジとルーティングテーブルを変更することで動的にインタフェースとの bind を変更する。Control Plane などの QoS の管理は Kernel による Token Bucket Filter によって実現している。

Control Plane はドメイン特有の機能を提供する。Control Plane の実装に仮想化技術である OpenVZ⁷⁾ を使用した。OpenVZ は VE と呼ぶ仮想マシンをホストノード上に実現する OS レベルのサーバ仮想化ソフトである。OpenVZ はハイパーバイザー型の仮想化ソフトに対してパフォーマンスや稼働させる VE 数で勝っている。VAP では OpenVZ の quota 機

能を用いることでドメインごとに AP 上の CPU、メモリ、副記憶領域の分割を行っている。

5.2 無線通信の多重化

各 VAP への無線通信の多重化には周波数分割多重・時分割多重等の複数の方法が考えられている⁸⁾。しかし、プロトタイプシステムでは多重化方式の検討は主目的ではないため、インタフェースによる多重を行った。プロトタイプシステムではインタフェースを複数持つ AP を用いて実装し、各 VAP に物理的なインタフェースの 1 つを割り当てた。

6. 考 察

6.1 プロトタイプシステムにおける最適配置の実現手法

実装したプロトタイプを用いて最適配置を実現できると考えられる。プロトタイプでは Control Plane を OpenVZ のライブライグレーションを用いて異なる AP に移動させる。Forwarding Plane に関するソフトウェアアプリケーションの設定データ、ルーティングデータのデータ、Kernel が持つ QoS の設定データを異なる AP に送信する。移動先の AP では受け取ったデータをもとにして Forwarding Plane を作成する。そして、VPN を用いて移動先の AP にパケットが送信されるように経路を変更した。以上の手法を用いて最適配置を実現できると考えられる。

6.2 消費電力を考慮した最適配置

VAP を用いて消費電力を考慮した最適配置を実現できると考えられる。現在使用されているアクセスポイントはモバイルノードが存在していなくても 24 時間起動している。そのため、VAP はモバイルノードが存在するアクセスポイントに移動し、そのほかをスリープさせる。この処理によって消費電力を効率よく削減できる。

6.3 新しいモデル

VAP を用いることでモバイルノード主導の最適配置を実現できると想定される。このモデルは VAP の場所や設定をモバイルノードの指示によって実行される。もし、所属しているドメインの無線ネットワークから離れた場所にモバイルノードがいると、所属しているドメインのネットワークは利用できない。そのため、モバイルノードが VAP を近くのアクセスポイントに移動することで所属するドメインのネットワークを異なる場所でも利用可能にする。このモデルはホームエージェントと異なり、ブライバートネットワークに常に定期的に

接続を保つことができる。

7. おわりに

アクセスポイントの最適な配置を実現するにあたって課題が 3 つあった。アクセスポイントの再配置、再配置時のパケットロス、異なるドメインでの再配置である。そこで、本研究ではアクセスポイントにおける最適配置の実現手法として VAP を提案した。VAP は仮想化技術により構築され、アクセスポイント内で独立して起動できる。これによって、ドメイン特有の SSID やチャンネルなどの情報を保持できる。また、ライブライグレーションによって VAP が起動する場所を変更し、コントロールプレーンとフォワーディングプレーンに分けて機能を移動させることでパケットロスを軽減した。

参 考 文 献

- 1) R.C. Rodrigues, G.R. Mateus, and A.A.F. Loureiro. On the design and capacity planning of a wireless local area network. pp. 335–348, 2000.
- 2) M.Kobayashi, S.Haruyama, R.Kohno, and M.Nakagawa. Optimal access point placement in simultaneous broadcast system using ofdm for indoor wireless lan. Vol.1, pp. 200–204 vol.1, 2000.
- 3) Jane-Hwa Huang, Li-Chun Wang, and Chung-Ju Chang. Deployment strategies of access points for outdoor wireless local area networks. Vol.5, pp. 2949–2953 Vol. 5, May-1 June 2005.
- 4) Youngseok Lee, Kyoungae Kim, and Yanghee Choi. Optimization of ap placement and channel assignment in wireless lans. pp. 831–836, Nov. 2002.
- 5) R.Akl and A.Areppally. Dynamic channel assignment in ieee 802.11 networks. pp. 1–5, May 2007.
- 6) Y.Matsunaga and R.H. Katz. Inter-domain radio resource management for wireless lans. Vol.4, pp. 2183–2188 Vol.4, March 2004.
- 7) OpenVZ. <http://openvz.org>.
- 8) Gregory Smith, Annol Chaturvedi, Arunesh Mishra, and Suman Banerjee. Wireless virtualization on commodity 802.11 hardware. In *WinTECH '07: Proceedings of the second ACM international workshop on Wireless network testbeds, experimental evaluation and characterization*, pp. 75–82, New York, NY, USA, 2007. ACM.